ACADÉMIE DES SCIENCES.

LUNDI 15 DÉCEMBRE 1941.

FUNÉRAILLES

DE

M. ÉMILE PICARD.

Le 11 décembre 1941 s'est éteint M. **Émile Picard**. Ses funérailles ont eu lieu le matin du 15 décembre.

Sur le parvis de l'église Saint-Germain-des-Prés, M. **Alfred Lacroix** donne lecture du télégramme suivant adressé par M. **Jérôme Carcopino**, Secrétaire d'État à l'Éducation Nationale et à la Jeunesse :

Veuillez offrir à Madame Picard et à ses enfants l'hommage de mes vives condoléances.

La mort de M. Émile Picard, qui met en deuil la Science française, sera ressentie à la Sorbonne et à l'École Normale qui s'enorgueillissaient de son enseignement et elle m'afflige au souvenir de la bienveillance qu'il voulait bien me témoigner personnellement.

puis il prend la parole en ces termes :

Madame, Messieurs,

Une brillante et précieuse lumière vient de s'éteindre. La Science française est en deuil. **Émile Picard**, l'un de ses plus illustres mathématiciens, doyen d'élection de tous les Membres de l'Institut de France, n'est plus.

Son désir avait été qu'aucun discours ne fut prononcé à ses obsèques.

Monsieur le Secrétaire d'État, les siens, ses Confrères et ses Collègues, ses élèves et ses amis ne sauraient se faire à l'idée de le voir les quitter

pour toujours sans que soient prononcées ici quelques paroles de regret, de souvenir, suprême adieu, dernier témoignage de respect, d'admiration, de reconnaissance et d'amitié.

Ayant partagé affectueusement avec lui, pendant vingt-quatre ans, la lourde charge qui incombe aux Secrétaires perpétuels de l'Académie des Sciences, je dois répondre à ce devoir.

La carrière d'Émile Picard a été belle entre toutes; elle fut une suite ininterrompue de succès qui n'ont rencontré aucun écueil. Avec une rapidité sans pareille, il a escaladé les plus hauts sommets et n'est plus jamais redescendu dans la plaine.

Ses dons mathématiques se sont dévoilés de bonne heure. A 18 ans, il est reçu second à l'École Polytechnique et premier à l'École Normale, où il entre sur le conseil de Pasteur. Quand il en sort, il est déjà docteur ès sciences et premier agrégé.

Il débute comme chargé de cours à la Faculté des sciences de Toulouse, à l'âge de 23 ans. A 30 ans, il est pourvu d'une chaire magistrale à la Sorbonne, où désormais se déroulera toute sa vie dans trois chaires successives, dont la dernière fut celle d'un autre géomètre illustre qui lui était doublement cher.

Son œuvre scientifique est si remarquable qu'il est déjà classé au nombre des premiers géomètres de France. Trois ans plus tard (1889), il est élu Membre de l'Académie des Sciences.

Depuis lors, sans trêve, ses travaux, ses découvertes se succèdent, faisant de lui un des plus grands mathématiciens de son temps, augmentant sans cesse durant un demi-siècle le lustre d'une réputation universelle qui lui ouvre les portes de toutes les Académies mondiales.

Une foule de jeunes mathématiciens se presse autour de lui, venus non seulement de toutes les provinces de France, mais des pays les plus lointains; il acquiert ainsi une influence considérable sur le développement des méthodes mathématiques et du goût pour les recherches qui s'y rattachent. Aucun de ses élèves, quel que soit son âge, n'a perdu le souvenir de l'admiration et de l'enthousiasme soulevés par les qualités de cet enseignement débordant de vie, de clarté, d'éloquence et de profondeur. Tous goûtaient particulièrement le talent de ce maître, d'une aussi exceptionnelle distinction, dans l'art de modeler ses pensées pour les rendre persuasives et suggestives.

La nouvelle de sa mort restera pour eux pleine de regrets.

Un même enthousiasme suivit Émile Picard au cours de son long professorat à l'École Centrale des Arts et Manufactures et à l'École Normale Supérieure de Sèvres.

Dominant l'ensemble des sciences mathématiques et physiques, il n'était pas prisonnier des théories pures. Aucune de leurs applications ne lui était indifférente. Une curiosité toujours en éveil, servie par une lecture éclectique jamais lassée, éprise de toutes les nouvelles scientifiques, et une mémoire fidèle avaient fait de lui un érudit capable de jeter des regards pénétrants sur des horizons aussi vastes que variés.

L'universalité de son esprit l'attirait aussi vers la philosophie et encore sur tout ce qui est beau. Il aimait les lettres anciennes, aussi bien que les modernes. Il les prisait pour leur forme autant que pour le fond, et c'était sa coquetterie.

Tant de belles qualités faisaient de lui un homme de commerce séduisant et sympathique, aussi nul ne fut surpris le jour où l'Académie française lui ouvrit ses portes comme au meilleur représentant de la Science alliée à cette élégance et cette finesse qui sont encore pour nous le charme de ses grands prédécesseurs du XVIIe et du XVIIIe siècle.

En terminant, je veux souligner, au nom de l'Académie des Sciences, sa profonde gratitude pour tout ce qu'elle doit à celui qu'en 1917 elle avait, à l'unanimité, choisi comme *Secrétaire perpétuel pour les sciences mathématiques*. Elle n'oubliera pas qu'il a contribué à sa prospérité par la conscience et l'habileté avec lesquelles il a rempli son rôle délicat, et aussi par l'éclat de son nom brillant au dehors autant qu'au dedans de notre Pays.

L'ensemble des Académies de l'Institut de France se souviendra aussi des services rendus par notre Confrère pendant les 31 ans où il a siégé dans sa Commission administrative.

Enfin, nous devons admirer le dévoûment avec lequel il a dirigé la Société de secours des Amis des Sciences, qui soulage les misères de tant de familles d'hommes de science, trahis par le sort.

La vie intellectuelle d'Émile Picard a donc été consacrée tout entière à la recherche scientifique largement comprise, à l'enseignement mathématique s'appuyant sur une œuvre personnelle admirable, et enfin au culte de tout ce qui n'est pas étranger aux choses de l'esprit.

Sous le ciel sombre qui nous couvre à l'heure présente, au moment de la définitive séparation, nous pouvons proclamer qu'il ne fut pas seulement un savant illustre, mais aussi un Sage, et qu'il avait le droit d'être fier d'avoir mérité et reçu tous les honneurs qui, dans notre France, sont réservés aux Grands Hommes.

Rarement une existence humaine n'est faite que de succès et de bonheur. Trop souvent ils cachent de profondes blessures.

De 1914 à ce jour, Émile Picard en a reçu de cruelles; il en a souffert stoïquement jusqu'à sa dernière heure, en père et en patriote, soutenu par la tendresse de sa chère compagne.

Que celle-ci veuille bien accepter nos condoléances respectueuses et émues et partager notre douloureuse sympathie avec ses enfants et petits-enfants.

SÉANCE DU LUNDI 15 DÉCEMBRE 1941.

PRÉSIDENCE DE M. HYACINTHE VINCENT.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

Après le dépouillement de la Correspondance M. le **Président** s'exprime en ces termes :

Messieurs,

C'est pour moi une épreuve bien cruelle d'avoir à rappeler la vie du savant illustre qui vient de disparaître et auquel m'unissait une ancienne et vive affection. **Charles-Émile Picard** n'est plus.... Depuis deux ans, sa santé si robuste, malgré l'âge, fléchissait lentement, sans arrêt, rebelle aux soins dont il était entouré. Bien qu'il n'en laissât rien paraître, les événements dramatiques qui se sont abattus sur notre pays l'avaient profondément affecté.

Sa mort constitue une très grande perte pour la Science.

Membre, depuis 1889, de l'Académie des Sciences, É. Picard avait été son Président en 1910. Il succédait en 1917 à Gaston Darboux comme Secrétaire perpétuel.

Émile Picard était un savant universel. Son œuvre, extraordinairement étendue, est d'une originalité puissante. Dès son adolescence, il manifestait une aptitude exceptionnelle à tout connaître, à tout comprendre, à tout pénétrer. Son érudition précoce, sa notion approfondie des langues latine et grecque excitaient la surprise de ses Professeurs. A l'âge de 18 ans, en 1874, il fut reçu simultanément premier à l'École Normale Supérieure et second à l'École Polytechnique. C'est alors qu'hésitant sur le choix de sa carrière, il alla demander l'avis de Pasteur. Celui-ci le décida à opter

mûrie de sa pensée toujours originale et toujours féconde. A côté des Mathématiques, beaucoup concernent les Sciences qui s'y rattachent, particulièrement la Physique. A diverses reprises, il a fait, à ce sujet, mention de la Biologie. Sa vaste intelligence, sa pensée lumineuse et toujours en éveil sur l'inconnu découvraient sans cesse de nouveaux horizons à explorer. On peut justement appliquer à Émile Picard le mot de Pascal : « La pensée fait la grandeur de l'homme ».

A côté du savant que fut Picard, l'homme vous est bien connu. Il était plein de bonté, toujours affable, toujours accueillant. Il possédait deux qualités rares, un caractère indépendant et un profond esprit de justice.

Sa conversation était émaillée de citations empruntées à la littérature ancienne ou moderne, car son érudition s'étendait à tous les domaines et sa mémoire était prodigieuse. Il aimait la discussion; les hypothèses neuves le séduisaient. N'a-t-il pas écrit quelque part : « La Théorie a maintes fois fait prévoir des faits nouveaux » ? Mais il s'attachait avec prédilection à la base rigide et stable du raisonnement et du fait. Il aurait pu justement s'appliquer à lui-même la réflexion de Descartes : « Je me plais surtout aux mathématiques, à cause de la certitude et de l'évidence de leurs raisons ».

Émile Picard est mort ! Son activité prodigieuse, sa pensée illuminée par les rayons de la vérité et de la science, tout est aujourd'hui éteint. Mais, dans l'avenir comme dans le présent, son œuvre, qui est l'une des plus belles de la Science moderne, subsistera et, avec elle, la gloire qui en rejaillit et qui entoure désormais, comme une auréole, le nom d'Émile Picard.

Qu'il me soit permis d'adresser à Madame Picard et à toute sa famille l'expression émue de nos plus vives condoléances.

La séance sera levée en signe de deuil après le vote de présentation inscrit à l'ordre du jour.

PRÉSENTATIONS.

Dans la formation d'une liste de candidats à la Chaire de Géologie du Muséum national d'Histoire naturelle, pour la première ligne M. *René Abrard* obtient 27 suffrages; il y a 7 bulletins blancs et 1 bulletin nul.

Pour la seconde ligne M. *Raymond Furon* obtient 26 suffrages; il y a 7 bulletins blancs et 1 bulletin nul.

En conséquence la liste présentée à M. le Secrétaire d'État à l'Éducation Nationale comprendra :

En première ligne............. M. **René Abrard.**
En seconde ligne.............. M. **Raymond Furon.**

CORRESPONDANCE.

HYDRAULIQUE. — *Étude des oscillations provoquées dans les chambres d'équilibre par les manœuvres d'ouverture instantanée. Remarque sur le calcul des cheminées déversantes.* Note [1] de M. **Léopold Escande**, transmise par M. Charles Camichel.

Cette Note se divise en deux parties distinctes :

I. *Oscillations provoquées dans les chambres d'équilibre par les manœuvres d'ouverture instantanée.*

Nous avons procédé à une étude expérimentale systématique de ce phénomène, sur les deux modèles décrits et suivant les méthodes exposées dans notre dernière Note [2].

Nous avons comparé les résultats obtenus à ceux que fournissent les constructions graphiques théoriques; ces dernières peuvent se classer en deux catégories : la première (construction n° 1) tient compte, à la fois, de la perte de charge dans le canal d'amenée et de l'influence, sur le débit, des variations de la hauteur de chute totale, résultant des oscillations du plan d'eau; la seconde (construction n° 2) néglige le second facteur. Dans le cas de nos modèles, la hauteur de chute totale ($H = 6^m,10$ dans le grand modèle) est assez faible pour nécessiter le recours à la construction de la catégorie n° 1).

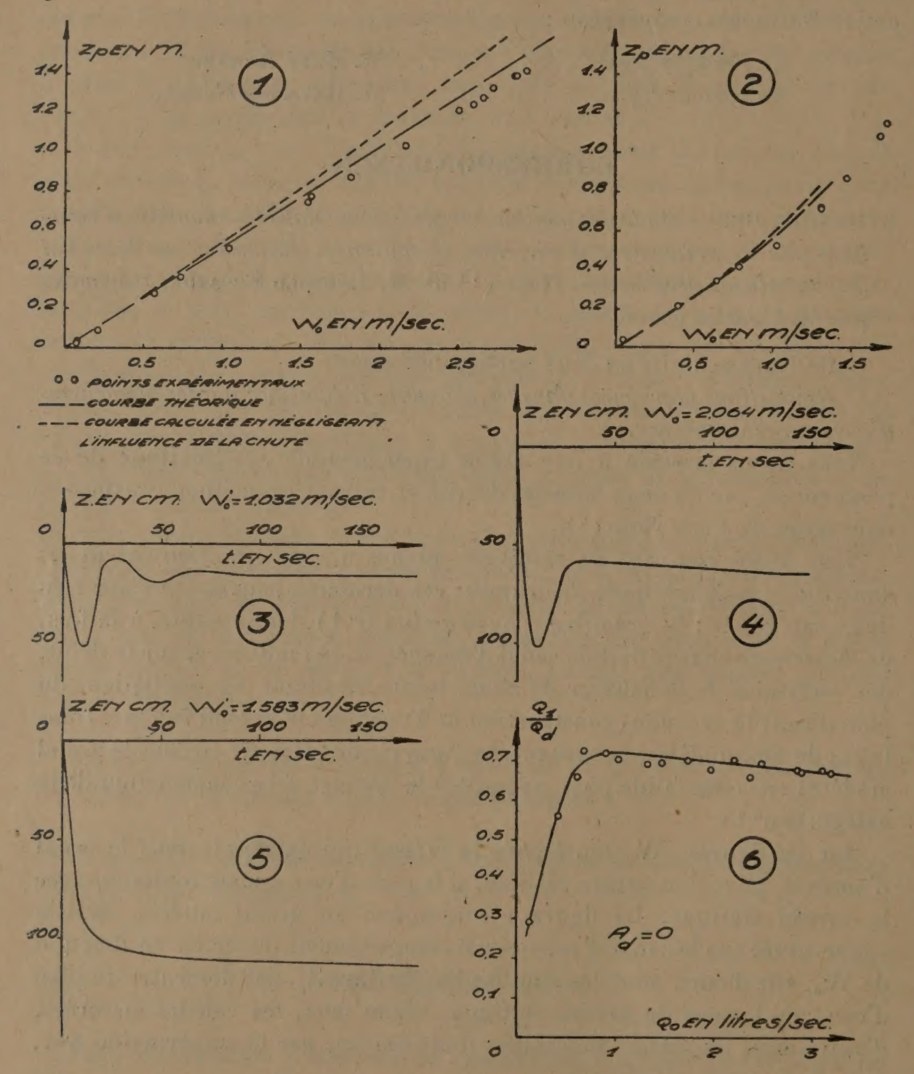
Sur les figures, W_0 représente la vitesse qui existerait dans le canal d'amenée, pour l'ouverture réalisée, si le plan d'eau restait confondu avec le niveau statique. La figure 1 correspond au grand modèle, dont la vanne située sur le canal d'amenée est complètement ouverte : en fonction de W_0, elle donne, pour les amplitudes maxima Z_p, des descentes du plan d'eau, au-dessous du niveau statique, d'une part, les valeurs mesurées, d'autre part, les valeurs théoriques fournies, soit par la construction n° 1, soit par la construction n° 2.

---

(1) Séance du 8 décembre 1941.

(2) *Comptes rendus*, 213, 1941, p. 768.

La figure 2 donne les résultats analogues obtenus, sur ce même modèle, avec une fermeture accentuée de la vanne, augmentant notablement les pertes de charge dans le canal d'amenée.



Les figures 3 et 4 représentent deux enregistrements correspondant à la série d'expériences de la figure 1; W'_0 représente la vitesse obtenue

dans le régime permanent final; pour $w'_0 = 1,032$ m/sec. (*fig.* 3), on observe une série d'oscillations, tandis que pour $w'_0 = 2,064$ m/sec. après la montée consécutive à la première descente, le niveau rejoint asymptotiquement la cote de régime permanent. La figure 5 correspond à l'une des expériences de la figure 2 ; la perte de charge, plus notable, supprime toute oscillation.

L'étude du petit modèle donne des résultats analogues.

Ces recherches permettent de conclure que les conclusions graphiques théoriques conduisent à une représentation très approchée des phénomènes, la divergence légère qui existe étant systématiquement dans le sens de la sécurité. Le fait de négliger l'influence des oscillations sur la hauteur de chute provoque, dans le cas de nos modèles, une divergence appréciable.

II. *Remarque sur le calcul des cheminées déversantes.* — Celui-ci s'effectue, d'ordinaire, en prenant par sécurité, comme débit maximum déversant, Q_1 à la suite d'une fermeture complète instantanée du débit initial Q_0, le débit Q_d, qui arrive dans la chambre, à l'instant où le plan d'eau atteint la cote A_d du seuil déversant, au-dessus du niveau statique. On commet ainsi, dans le sens de la sécurité, une erreur systématique. La courbe de la figure n° 6, que nous avons obtenue, dans une série d'expériences faites sur le petit modèle de notre laboratoire et correspondant au cas où $A_d = 0$, montre que cette erreur est souvent exagérée, puisque, dans le cas considéré, Q_1 reste inférieur aux trois quarts de Q_d.

MÉCANIQUE ONDULATOIRE. — *Sur les matrices de spin.*

Note [1] de M. **Gérard Petiau**, présentée par M. Louis de Broglie.

Les matrices de spin de la théorie du corpuscule de spin $(n/2)(h/2\pi)$ sont représentées par les matrices $S_i = (n/2)(h/2\pi)S_i$ $(i = 1, 2, 3)$, les S_i s'écrivant $S_i = \frac{1}{n}\sum_{p=1}^{n} \sigma_i^{(p)}$, les σ_i étant les trois matrices de Pauli

$$\sigma_1 = \begin{vmatrix} & 1 \\ 1 & \end{vmatrix}, \quad \sigma_2 = \begin{vmatrix} & -i \\ i & \end{vmatrix}, \quad \sigma_3 = \begin{vmatrix} 1 & \\ & -1 \end{vmatrix}; \quad \sigma_0 = \begin{vmatrix} 1 & \\ & 1 \end{vmatrix}.$$

Le système des S_i comprend également les matrices symétriques

$$S_{i,j} = \frac{1}{n(n-1)} \Sigma_{p,q}\, \sigma_i^{(p)} \sigma_j^{(q)}, \quad S_{i_2} = \frac{2}{n(n-1)} \Sigma_{p,q}\, \sigma_i^{(p)} \sigma_i^{(q)},$$

$$S_{i,j,k} = \frac{1}{n(n-1)(n-2)} \Sigma_{p,q,r}\, \sigma_i^{(p)} \sigma_j^{(q)} \sigma_k^{(r)}.$$

(1) Séance du 8 décembre 1941.

D'une façon générale, nous écrirons

$$S^{(n)}_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma} = \frac{\alpha!\,\beta!\,\gamma!\,\delta!}{n!} \Sigma_{p,q,r,s}\, \sigma_i^{(p_1)} \ldots \sigma_i^{(p_\alpha)}\, \sigma_j^{(q_1)} \ldots \sigma_j^{q_\beta}\, \sigma_k^{(r_1)} \ldots \sigma_k^{(r_\gamma)}\, \sigma_0^{(s_1)} \ldots \sigma_0^{(s_\delta)}$$

avec $\alpha + \beta + \gamma + \delta = n$.

Le système des $S_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma}$ comprend $3n + 1$ matrices de la forme S_0, S_{i_α}, $[3n(n+1)]/2$ matrices S_{i_α, j_β} et $[n(n-1)(n-2)]/6$ matrices $S_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma}$, soit au total $K(n) = [(n+1)(n+2)(n+3)]/6 = (n+1)^2 + (n-1)^2 + \ldots + 1^2$ ou 0 suivant la parité de n. Nous nous proposons d'étudier les propriétés et la réductibilité des matrices $S^{(n)}_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma}$.

Nous avons facilement les règles de multiplication

$$S_i S_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma} = \frac{1}{n}[\alpha S_{i_{\alpha-1}, j_\beta, k_\gamma} + \delta S_{i_{\alpha+1}, j_\beta, k_\gamma}] + \frac{i}{n}[\beta S_{i_\alpha, j_{\beta-1}, k_{\gamma+1}} - \gamma S_{i_\alpha, j_{\beta+1}, k_{\gamma-1}}],$$

$$S_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma} S_i = \frac{1}{n}[\alpha S_{i_{\alpha-1}, j_\beta, k_\gamma} + \delta S_{i_{\alpha+1}, j_\beta, k_\gamma}] - \frac{i}{n}[\beta S_{i_\alpha, j_{\beta+1}, k_{\gamma+1}} - \gamma S_{i_\alpha, j_{\beta+1}, k_{\gamma-1}}].$$

Nous en tirons la formule

$$[S_i S_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma} + S_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma} S_i] = \frac{2}{n}[\alpha S_{i_{\alpha-1}, j_\beta, k_\gamma} + \delta S_{i_{\alpha+1}, j_\beta, k_\gamma}],$$

qui permet la construction de $S_{i_{\alpha+1}, j_\beta, k_\gamma}$ à partir de $S_{i_{\alpha-1}, j_\beta, k_\gamma}$ et de $S_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma}$, et par suite permet d'obtenir tout nombre $S_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma}$ par combinaison des matrices 1, S_i, S_j, S_k.

Plus particulièrement, nous avons

$$S_i S_{i_\alpha} = S_{i_\alpha} S_i = \frac{1}{n}[\alpha S_{i_{\alpha-1}} + (n - \alpha) S_{i_{\alpha+1}}].$$

Nous avons également

$$S_i S_j - S_j S_i = \frac{2i}{n} S_k$$

qui montre que les S_j possèdent bien les propriétés des matrices de spin.

On voit facilement que tous les nombres $S_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma}$ commutent avec la matrice $G = S_{i_2} + S_{j_2} + S_{k_2}$ dont les valeurs propres sont les nombres

$$g = \frac{k(k+2)}{n(n-1)} - \frac{3}{n-1}, \qquad \text{avec} \quad k = n,\ n-2,\ \ldots,\ 1 \text{ ou } 0.$$

En particulier, pour $k = n$, $g = 1$ et l'on obtient la représentation de rang maximum $2n + 1$, les $S_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma}$ étant liés par les $K(n-2)$ relations

$$S_{i_\alpha, j_\beta, k_\gamma} = S_{i_{\alpha+2}, j_\beta, k_\gamma} + S_{i_\alpha, j_{\beta+2}, k_\gamma} + S_{i_\alpha} S_{j_\beta, k_{\gamma+2}}.$$

Il reste alors $(n+1)^2$ matrices linéairement indépendantes. Pour préciser

la forme de celle-ci, on est amené à examiner l'équation

$$G\psi_{m_1 m_2 \ldots m_n} = g\psi_{m_1 m_2 \ldots m_n} \qquad (m_i = 1, 2),$$

qui s'écrit encore

$$\Sigma_{\mu,\nu}\, \delta_{m_\mu p_\nu}\, \delta_{m_\nu p_\mu} \psi_{p_1 \ldots p_\mu, p_\nu \ldots p_n} = \frac{n(n-1)}{2} \psi_{m_1, m_\mu, m_\nu \ldots m_n}.$$

Désignant par $\psi(k)$ les ondes pour lesquelles $m_1 + m_2 + \ldots + m_n = n + k$, on voit alors que pour chaque valeur de k variant de 0 à n, les $n!/k!(n-k)!$ ondes $\psi^{(k)}$ sont égales entre elles. Posant alors

$$\psi^{(k)}_{m_1 \ldots m_n} = \sqrt{\frac{k!(n-k)!}{n!}}\, \varphi_k,$$

on passera de la représentation d'ordre 2^n à la représentation irréductible correspondant à $g = 1$, d'ordre $2n + 1$ au moyen de la transformation

$$(\mathrm{U})_{m_1, m_2, \ldots, m_n; k} = \sqrt{\frac{k!(n-k)!}{n!}}\, e^{m_1, \ldots, m_n; k}.$$

En utilisant les expressions des matrices σ, nous obtenons

$$S_x = \frac{1}{n}\left[\sum_0^n {}_k \sqrt{(k+1)(n-k)}\,(e^{k,k+1} + e^{k+1,k})\right],$$

$$S_y = \frac{i}{n}\left[\sum_0^n {}_k \sqrt{(k+1)(n-k)}\,(e^{k,k+1} - e^{k+1,k})\right], \qquad S_z = \frac{1}{n}\left[\sum_0^n {}_k [n - 2k]\, e^{k,k}\right].$$

Si nous examinons plus particulièrement les cas pour lesquels $n = 2, 3, 4$, nous obtenons :

1° $n = 2$ (spin $h/2\pi$). G admet les deux valeurs propres $g' = 1$ et $g'' = -3$.

Pour $g = 1$, les dix matrices 1, S_i, S_{i_2}, $S_{i,j}$ sont liées par la relation $S_{i_2} + S_{j_2} + S_{k_2} = 1$ et la représentation réduite du troisième rang s'écrit

$$S_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(e^{0,1} + e^{1,0} + e^{1,2} + e^{2,1}), \quad S_2 = \frac{i}{\sqrt{2}}(e^{1,0} - e^{0,1} + e^{2,1} - e^{1,2}); \quad S_3 = e^{0,0} - e^{2,2}.$$

Pour $g = -3$,

$$S_i = S_j = S_k = S_{i,j} = S_{j,k} = S_{i,k} = 0, \qquad S_{i_2} = S_{j_2} = S_{k_2} = -1,$$

la représentation se réduit à la matrice-unité représentant le spin 0.

2° $n = 3$ [spin (3/2) ($h/2\pi$). G admet les deux valeurs propres $g' = 1$ et $g'' = -1$.

Pour $g = 1$, les 20 matrices 1, $S_{i_1} S_{i_2}$, $S_{i,j}$, S_{i_3}, $S_{i_2,j}$, $S_{i_2,k}$, $S_{i,j,k}$ sont liées par les quatre relations $S_{i_2} + S_{j_2} + S_{k_2} = 1$, $S_i = S_{i_3} + S_{i,j_2} + S_{i,k_2}$. Les S_i admettent une représentation irréductible d'ordre 4.

Pour $g = -1$, le système se réduit aux quatre matrices indépendantes 1, S_i, S_j, S_k. On a alors $S_i = -1/3\, S_{i_3} = -S_{i,j_2} = -S_{i,k_2}$; $S_{i_2} = -1/3$, $S_{i,j} = 0$. La loi de multiplication montre alors que $S_i S_j + S_j S_i = 0$ $(S_i)^2 = 1/9$. Le système est celui des matrices de spin 1/2.

3° $n = 4$ [spin $2(h/2\pi)$]. G admet les valeurs propres 1, $-1/3$, -1.

Pour $g = 1$, le système se réduit de 35 à 25 matrices linéairement indépendantes par les 10 relations

$$S_i = S_{i_3} + S_{i,j_3} + S_{i,k_3}, \qquad S_{i_2} = S_{i_1} + S_{i_2,j_2} + S_{i_2,k_2},$$
$$S_{i,j} = S_{i_3,j} + S_{i,j_3} + S_{i,j,k_3}, \qquad \Sigma S_{i_1} + 2\Sigma S_{i_2,j_2} = 1.$$

Les S_i admettent alors une représentation de rang 5.

Pour $g = -1/3$, le système est ramené à 9 matrices linéairement indépendantes par les 26 relations

$$S_i = -S_{i_2} = -3S_{i_2,j} = -3S_{j,k_2}; \qquad S_{i,j,k} = 0; \qquad S_{i_2,j} = S_{i,j_2} = -3S_{i,j};$$
$$S_{i_2,j_2} = S_{k_2}; \qquad S_{i_1} = -(6S_{i_2} + 1); \qquad S_{i,j,k_2} = -S_{i,j}; \qquad S_{i_2} + S_{j_2} + S_{k_2} = -\frac{1}{3}.$$

On retrouve les relations liant les matrices irréductibles de spin $h/2\pi$.

Pour $g = -1$, on voit facilement que

$$S_i = S_{i_3} = S_{i,j} = S_{i_3,j} = S_{i,j,k_2} = 0, \qquad S_{i_2} = -\frac{1}{3}, \qquad S_{i_3} = 1, \qquad S_{i_2,j_2} = S_{i_2,k_2} = S_{j_2,k_2} = \frac{1}{3}.$$

Le système se réduit à la matrice unité représentative du spin 0.

PHYSIQUE. — *Sur un nouveau stroboscope de laboratoire. Décharges électriques commandées par un tube thyratron.* Note de M. **Louis Sackmann**, présentée par M. Henri Villat.

Caractéristiques des procédés actuels de stroboscopie électrique. — Les stroboscopes électriques, grâce à la mise en jeu de quantités d'énergie considérables pendant des laps de temps extrêmement courts, présentent le double avantage de l'instantanéité des éclairs (condition pour obtenir des images nettes quelle que soit la vitesse réelle des phénomènes étudiés), et d'une grande puissance lumineuse (condition pour assurer une observation aisée).

Tous ces procédés utilisent les décharges lumineuses dans les lampes à gaz rares (néon, xénon, krypton); pour cela on a recours à un condensateur qui se décharge et se recharge alternativement, grâce à un mécanisme de synchronisation comportant toujours un éclateur.

Dans les instruments industriels, qui font appel à des tensions de charge de plusieurs milliers de volts et à des condensateurs puissants dont la capacité atteint

facilement le microfarad, l'éclateur est un apparail robuste absorbant une puissance mécanique non négligeable. Il importe cependant que cet éclateur travaille à des tensions aussi basses que possible, afin d'éviter l'usure rapide des plots sous l'action des étincelles de rupture (à cet effet on se sert de relais électriques).

Un instrument de laboratoire par contre devra présenter les caractéristiques suivantes :

1° tension d'utilisation faible ne dépassant pas 300 volts par exemple;

2° décharges et éclairs commandés par un relais à très basse tension;

3° contacteur rotatif à couple résistant très petit et dans tous les cas rigoureusement constant pour éviter les à-coups.

Les avantages immédiats d'un tel appareil sont :

1° fonctionnement régulier grâce au contacteur-relais spécial;

2° maniabilité très grande;

3° élimination du danger des hautes tensions;

4° encombrement et poids très réduits, ce qui n'est pas à négliger.

Le stroboscope a thyratron. — *Principe.* — On remplace l'éclateur-synchronisateur du circuit de décharge par une lampe triode à gaz (thyratron), qui joue le rôle de relais électrique. C'est la grille du thyratron qui commande la décharge du condensateur et par conséquent le moment précis de l'éclair stroboscopique, pour une polarisation convenable : le courant électronique de la lampe est alors brusquement accéléré, la résistance intérieure tombe à une valeur très faible. C'est sous l'action de ce court-circuit particulier que s'effectue la décharge du condensateur. La tension d'accélération est transmise à la grille par un contacteur rotatif à plot (basse tension).

En dehors de la durée très brève du fonctionnement du plot, la grille est en permanence à une tension telle que le courant électronique est pratiquement coupé; le thyratron, dont la résistance intérieure est alors très élevée, fonctionne comme une véritable coupure. C'est pendant ce temps relativement long par rapport à la durée de fonctionnement du plot, que le condensateur reprend sa charge initiale.

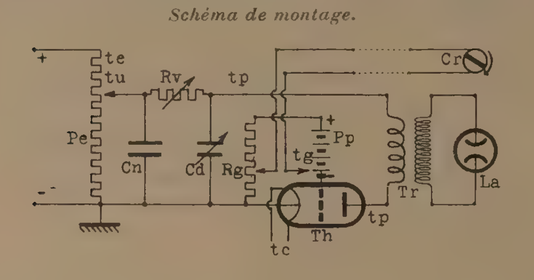
Cette charge s'opère à travers une forte résistance, par l'intermédiaire d'un condensateur nourrice, qui est en relation directe avec la tension d'utilisation (phénomène de relaxation).

Modes de fonctionnement. — Le stroboscope à thyratron peut fonctionner suivant deux régimes différents :

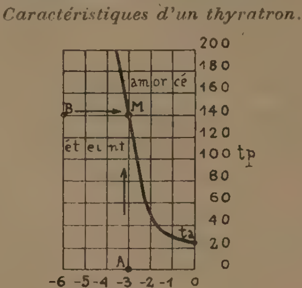
A. *Fonctionnement autonome à éclairs de relaxation.* — Il n'y a pas de contacteur de synchronisation. La tension grille *tg* est maintenue constante; il n'y aura accélé-

ration électronique que si la tension aux bornes du condensateur de décharge, et par suite la tension plaque *tp*, atteint une valeur critique (voir la figure); on traverse la

Schéma de montage.



Caractéristiques d'un thyratron.



Pe, potentiomètre d'entrée; Cn, condensateur nourrice; Cd, condensateur décharge; Rv, résistance variable; Rg, résistance de grille; Th, thyratron; Pp, pile de polarisation; Tr, transformateur; La, lampe à gaz; Cr, contacteur rotatif; te, tension d'entrée; tu, tension d'utilisation; tp, tension plaque, tp ≤ tu; tg, tension négative de grille; tc, tension de chauffage; ta, tension d'amorçage; M, point de la caractéristique (tg-tp).

caractéristique en M, suivant le parcours AM. Aussitôt après l'éclair le condensateur se recharge au bout d'un temps T, période propre du système (relaxation).

B. *Fonctionnement synchrone commandé par un contacteur.* — C'est le contacteur qui déclenche les décharges en communiquant à la grille la tension d'accélération nécessaire; mais il faut s'arranger, en agissant sur la résistance du circuit de charge, pour que la période propre du stroboscope soit voisine de la période imposée par le contacteur; on traverse la caractéristique en M, suivant le parcours BM.

Notons que, si la résistance est réglée à une valeur trop élevée, le train des éclairs présentera des creux, mais il y aura toujours synchronisme. Pour rétablir la continuité du train, il suffira de réduire progressivement la valeur de la résistance de charge.

Remarque. — M. André Lallemand a mis au point un procédé de stroboscopie en utilisant une lampe triode ordinaire; l'énergie mise en jeu est très faible du fait qu'on exploite exclusivement des variations de tensions sans faire intervenir la décharge d'un condensateur; il n'y a pas de phénomène de relaxation.

ÉLECTRICITÉ. — *Sur l'action d'un champ électrique à la surface d'une solution électrolytique.* Note [1] de M. **Charles Cassignol**, présentée par M. Maurice de Broglie.

1. Notre point de départ a été une étude des phénomènes lumineux qu'on observe aux électrodes dans l'électrolyse [2]. Nous en résumons d'abord les principaux résultats.

[1] Séance du 17 novembre 1941.

[2] Ch. Cassignol, *Étude de quelques phénomènes lumineux dans l'électrolyse* (*Diplôme d'Études supérieures.* Faculté des Sciences de Paris, 1941.)

Lorsque la tension aux bornes d'une cuve à électrolyse est de quelques dizaines de volts, des phénomènes lumineux se produisent aux électrodes. En général la chute de potentiel et l'émission de lumière sont localisées sur l'électrode de plus faible surface.

On peut observer, tant à l'anode qu'à la cathode, 1° des régimes dans lesquels l'émission de lumière est due à la rupture du courant, causée elle-même par le dégagement gazeux; 2° des régimes dans lesquels l'électrode est séparée du liquide par une gaine gazeuse lumineuse.

Ces derniers sont les plus intéressants. Avec une solution aqueuse d'acide sulfurique à 1,5N et des électrodes de platine de $1^{mm},5$ de diamètre, on observe un phénomène anodique à gaine, stable au-dessus de 20 volts, et trois phénomènes cathodiques à gaine, stables respectivement de 30 à 50 volts, de 50 à 80 volts et au-dessus de 90 volts.

Nous nous occupons exclusivement du phénomène anodique et du phénomène cathodique stable de 50 à 80 volts. Leurs caractéristiques sont les suivantes : densité de courant de l'ordre de 1 ampère par centimètre carré à l'électrode entourée de gaz; dans le cas du phénomène cathodique la cathode ne s'échauffe pas sensiblement; dans le cas du phénomène anodique, au contraire, l'électrode est incandescente, d'autant plus chaude que la tension aux bornes est plus élevée.

Pour expliquer le passage du courant à travers la gaine, on ne peut pas faire appel à la décharge disruptive, car les potentiels employés sont trop faibles, ni à l'émission thermoionique de la cathode, dans le cas du phénomène cathodique. On est donc conduit à l'hypothèse suivante :

Sous l'action du champ électrique intense qui règne à l'intérieur de la gaine, le liquide émet des charges électriques d'un signe approprié, qui transportent le courant.

2. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons réalisé un dispositif qui permet de soumettre un liquide à un champ électrique intense.

Le liquide est répandu en couche mince, avec un pinceau, sur l'armature centrale, constituée par un fil de platine de $0^{mm},2$ de diamètre, d'un condensateur bi-cylindrique. L'autre armature est un tube de laiton de 72^{mm} de diamètre intérieur. La source d'électricité est une machine de Wimshurst tournant à vitesse réduite (pour éviter l'effluve dans le cylindre). Un éclateur est monté en dérivation sur les deux armatures et permet d'étudier qualitativement les variations de la résistance de fuite du condensateur.

L'éclateur est réglé de façon qu'il y passe une série continue d'étincelles lorsque le fil central est sec. Si alors on le mouille avec de l'eau pure,

l'étincelle continue de passer, peut-être un peu moins fréquente. Si, toutes choses égales d'ailleurs, on le mouille avec une solution d'acide sulfurique normale, on constate que l'étincelle ne passe plus. La résistance de fuite a donc diminué.

Nous avons répété cette expérience avec divers liquides isolants ou conducteurs, et nous avons trouvé que l'étincelle passait toujours dans le premier cas et très rarement dans le second; c'est avec de l'acide sulfurique que le réglage était le plus facile. Dans ce dernier cas, le résultat ne dépendait pas de la polarité.

Notre hypothèse est ainsi vérifiée qualitativement.

D'autres expériences, que nous ne décrivons pas parce qu'elles ne sont pas concluantes, semblent montrer que l'émission de charges par un liquide électrolytique ne se produit que si le champ électrique a une valeur suffisante.

Cela concorde avec le résultat de l'étude de la polarisation de la lumière réfléchie sous l'incidence brewstérienne par un électrolyte : l'ellipticité résiduelle est la même que dans le cas de l'eau pure ([3]). Il n'existe donc pas de charges électriques à la surface d'un liquide électrolytique, et le champ électrique doit être suffisant pour leur faire traverser la couche de passage.

ÉLECTROCHIMIE. — *Mécanisme de la surtension des ions* N_3^- *et* OH^-. Note ([1]) de MM. **René Audubert** et **Edgar-T. Verdier**, présentée par M. Jacques Duclaux.

L'un de nous a montré avec S. Cornevin ([2]) que, si l'on fait intervenir dans les processus de décharge l'activation des ions et si l'on tient compte des réactions inverses d'ionisation toujours possibles, l'intensité I du courant est liée au potentiel V de l'électrode par la relation

$$(1) \qquad I = K[A^-]\,e^{-\frac{W-\alpha F(V_0+\eta)}{RT}}\left[1 - e^{-\frac{(\alpha+\beta)F\eta}{RT}}\right].$$

K est une constante cinétique, $[A^-]$ la concentration de l'ion en solution, W l'énergie

([3]) Ch. Bouhet, *Annales de Physique*, 15, 1931, p. 5.

([1]) Séance du 1er décembre 1941.

([2]) *Comptes rendus*, 212, 1941, p. 234; *Journal de Chimie physique*, 38, 1941, p. 46.

d'activation de la réaction de décharge, V_0 le potentiel de l'électrode en dehors de toute polarisation, η la surtension, α et β les coefficients de transmission de l'énergie cinétique de la réaction de décharge et de son inverse; F, R, T ayant leur signification habituelle.

Nous avons cherché à vérifier si cette théorie, qui rend compte de la polarisation anodique de nombreux métaux (Al, Si, Mg et Ta) [2], s'appliquait également aux surtensions de l'azote et de l'oxygène, dans la décharge des ions N_3^- et OH^-.

L'étude des surtensions anodiques de ces ions en fonction de l'intensité du courant a été faite par électrolyse, entre des électrodes de platine, de solutions de N^3Na et de NaOH, à plusieurs températures (1°,5, 20°, 42°, 57°C.) et à diverses concentrations (N et N/1000) avec des courants allant de 5.10^{-9} à 10.10^{-3} ampère.

Nous avons constaté qu'en évitant avec soin toute polarisation brutale de l'électrode, il était possible d'avoir, même pour les plus petites intensités du courant, des valeurs parfaitement reproductibles. Nous avons ainsi pu analyser des domaines de très faible surtension, généralement négligés par la plupart des expérimentateurs.

Les courbes, obtenues en portant en abscisse η et en ordonnée $\log I$, sont tracées sur le diagramme ci-après. Elles présentent deux domaines rectilignes, et sont précédées d'une portion incurvée, située au-dessous du prolongement de la première droite, cette portion est celle où le processus inverse d'ionisation ne peut être négligé. Il est possible à partir de ces courbes, ainsi qu'on l'a vu [2], de calculer les différentes constantes, α, β et K rentrant dans la formule générale, et de vérifier, comme on peut le voir sur la figure, que les points expérimentaux coïncident avec les points calculés.

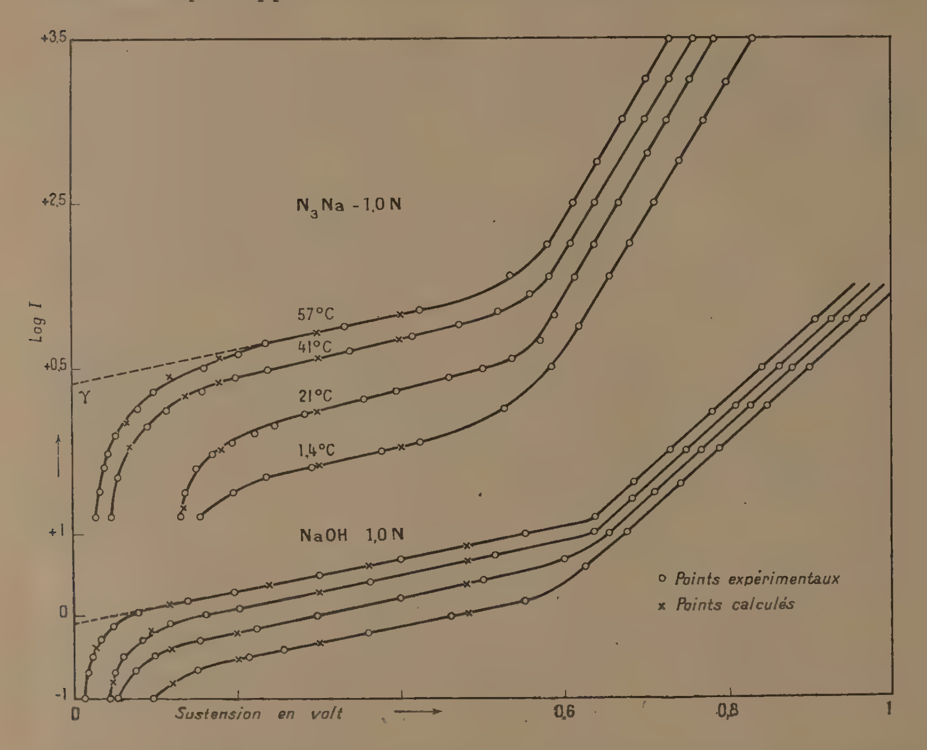
L'influence de la température sur les courbes $\log I = f(\eta)$ permet d'atteindre l'énergie d'activation des processus de décharge.

L'équation (1) peut s'écrire en effet, en négligeant la réaction d'ionisation,

$$\text{(2)} \qquad \operatorname{Log} I = \operatorname{Log} K[A^-] - \frac{0,43\,W}{RT} + \frac{0,43\,\alpha F V_0}{RT} + \frac{0,43\,\alpha F \eta}{RT}.$$

Dans cette équation nous ne connaissons pas d'une manière rigoureuse la valeur V_0 qui représente la différence de potentiel absolue métal-liquide, en dehors de toute polarisation. Parmi les résultats des nombreuses

méthodes proposées pour déterminer les potentiels absolus, nous avons choisi la valeur généralement acceptée de 0,560 pour le potentiel absolu du mercure par rapport à une solution normale de KCl, valeur qui semble



être la plus reproductible et à laquelle conduisent de nombreux procédés différents.

En désignant par γ l'ordonnée du point de rencontre d'une des portions rectiligne avec l'axe des ordonnées, on a

$$\gamma = \text{Log}\, K[A^-] - \frac{0{,}43\, W}{RT} + \frac{0{,}43\, \alpha F V_0}{RT}.$$

Par suite, si l'on porte en abscisse $1/T$ et en ordonnée les valeurs correspondantes de $y = \gamma - (0{,}43\, \alpha F V_0\, RT)$, on a une droite dont la pente permet de calculer l'énergie d'activation W, et la constante K.

Le tableau ci-contre contient deux séries de valeurs correspondant aux deux portions linéaires des courbes pour les ions N_3^- et OH^- :

Électrolyte.	t (°C).	α.	β.	γ.		α'.	γ'.	
NaOH 1,0N	57	0,124	0,540	−0,05	$W = 8300^{cal}$	0,617	−4,89	$W' = 3800^{cal}$
	41	0,120	0,516	−0,30	$\text{Log}\,K = 4,59$	0,584	−4,94	$\text{Log}\,K' = -6,14$
	21,4	0,118	0,339	−0,60		0,531	−4,99	
	1,4	0,115	0,234	−0,97		0,490	−5,06	
NaOH N/1000	56,5	0,063	0,237	+0,20	$W = 3100^{cal}$			
	19,6	0,035	0,213	−0,26	$\text{Log}\,K = 4,74$			
N^3Na 1,0N	57	0,135	0,178	+0,34		1,108	−7,67	
	42	0,142	0,221	−0,08	$W = 12700^{cal}$	1,050	−8,00	$W' = 5800^{cal}$
	20	0,129	0,230	−0,64	$\text{Log}\,K = 7,30$	0,965	−8,36	$\text{Log}\,K' = -18,0$
	1,4	0,117	−	−1,32		0,882	−8,88	

En résumé, la formule générale donnée pour la polarisation anodique s'applique donc bien à la surtension de l'azote et de l'oxygène. L'existence de deux portions rectilignes révèle l'influence du champ au voisinage de l'électrode sur les processus de décharge des ions, cette influence pouvant porter soit sur l'hydratation de l'ion, soit sur sa déformabilité. Dans cette dernière hypothèse il faudrait alors admettre que l'action du champ pourrait aller jusqu'au passage d'un électron de son orbite normale à une orbite plus externe.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur une nouvelle méthode générale de synthèse des essences allyliques et propényliques.* Note (1) de M. Léonce Bert.

Nous avons montré (2) que les éthers-oxydes phénoliques se condensaient avec le dichloropropène-1.3, en présence soit de chlorure d'aluminium anhydre (monophénols), soit de poudre de zinc (mono-, di- et triphénols), pour donner la nouvelle classe importante des éthers-oxydes phénoliques ω-chlorallylés du type $RO-C^6H^4-CH^2-CH=CHCl$.

L'objet de la présente Note est de faire connaître leur utilisation à la synthèse des essences allyliques et propényliques.

I. *Essences allyliques.* — Certains éthers phénoliques ω-chlorallylés ne sont autres que les dérivés ω-chlorés de certaines essences allyliques dont la synthèse consiste dès lors dans le remplacement de l'atome de chlore par un atome d'hydrogène.

Nous y sommes parvenu par une voie indirecte, en les traitant par le

(1) Séance du 1er décembre 1941.

(2) L. Bert, *Comptes rendus*, 213, 1941, p. 797.

sodium, soit en l'absence de solvant, soit au sein de l'éther ou de carbures benzéniques, à froid ou à chaud [2]. A la suite de l'enlèvement du chlore par le sodium, il se produit une redistribution des atomes d'hydrogène entre les chaînes allyliques de deux molécules d'éther phénolique ω-chorallylé, et l'on obtient l'essence allylique attendue et un alcoxyphénylpropylène vrai, conformément à l'équation

$$2RO—C^6H^4—CH^2—CH{=}CHCl + 2Na = 2ClNa + RO—C^6H^4—CH^2—CH{=}CH^2 + RO—C^6H^4—CH^2—C{\equiv}CH$$

Nous avons fait ainsi la synthèse de l'estragol, du sapol [3], du méthyleugénol et de l'élémicine, à partir, respectivement, de l'anisol, de l'éther méthylénique, du pyrocatéchol, du vératrol et du triméthylpyrogallol.

II. *Essences propényliques.* — On sait que les dérivés allylés précédents, chauffés avec une solution alcoolique de potasse, s'isomérisent en propénylés, par migration de la double liaison de $\beta\gamma$ en $\alpha\beta$. Mais il est possible de les préparer autrement à partir de nos éthers-oxydes phénoliques ω-chlorallylés. Pour cela, on chauffe ces derniers avec KOH et un alcool R'OH quelconque, dans les proportions moléculaires respectives 1, 3, 5.

Il se forme très vite, et avec un rendement élevé, les éthers-oxydes d'alcolyle et d'alcoxycinnamyle du type

$$RO—C^6H^4—CH{=}CH—CH^2—O—R',$$

que l'hydrogénation par le sodium et l'alcool coupe en essence propénylique $RO—C^6H^4—CH{=}CH—CH^3$ et en alcool R'OH. Une partie de l'essence propénylique s'hydrogène en alcoxypropylbenzène

$$RO—C^6H^4—CH^2—CH^2—CH^3.$$

La préparation est calquée sur celle des propényl- et propylbenzènes que nous avons décrite autrefois [4], avec cette différence que la séparation des produits engendrés est ici plus aisée.

Nous avons obtenu à ce jour l'anéthol, l'isosafrol, le méthylisoeugénol, l'isoélémicine et l'asarone à partir, respectivement, de l'anisol, de la méthylènepyrocatéchine, du vératrol et des triméthoxybenzènes-1.2.3 et 1.2.4.

---

(2) L. Bert et M. Raynaud, *Comptes rendus*, **191**, 1930, p. 454.

(3) C'est, à notre connaissance, la première synthèse de cet important produit naturel.

(4) L. Bert et M. Anglade, *Comptes rendus*, **189**, 1929, p. 645.

CRISTALLOGRAPHIE. — *Sur l'orientation des cristaux liquides par les surfaces frottées; étude expérimentale.* Note de M. **Pierre Chatelain**, présentée par M. Charles Mauguin.

Soit une préparation de liquide anisotrope obtenue de la manière suivante : de l'azoxyanisol, dans sa phase nématique, est introduit par capillarité entre un porte-objet et un couvre-objet, placés sur la platine chauffante d'un microscope polarisant; ces deux lames ont été préalablement frottées sur du papier suivant une direction D bien déterminée, les surfaces frottées étant celles qui sont au contact du liquide, les directions D coïncidant. Observée en lumière parallèle, entre nicols croisés, une telle préparation rétablit la lumière; mais contrairement à ce qui se produit avec des lames non frottées, elle s'éteint dans toute son étendue pour quatre positions de la platine, comme le ferait une lame monocristalline, la vibration lente étant dirigée suivant D. Si les lames n'ont pas été nettoyées spécialement, ni frottées un grand nombre de fois, la préparation, observée en lumière monochromatique avec le montage de lumière convergente, montre les figures caractérisant un uniaxe, l'axe optique ayant une inclinaison variable d'une région à l'autre, les régions parallèles à l'axe étant les plus nombreuses.

Action de la durée du frottement. — Pour obtenir une préparation s'éteignant uniformément suivant D, il suffit de frotter la lame 3 ou 4 fois sur du papier (trajet 30^{cm} environ). Si la durée du frottement est accrue, lames frottées 50 fois par exemple, le nombre de plages non parallèles à l'axe diminue notablement; en frottant la lame 100 fois, la préparation obtenue est équivalente à une lame monocristalline, dont l'axe optique serait parallèle à la direction D du frottement. Comme l'axe optique d'une préparation orientée d'azoxyanisol dans sa phase nématique est confondu avec la position moyenne de la direction d'allongement des molécules, il est possible d'énoncer les résultats suivants :

Le frottement exerce deux actions, la première, immédiate, oriente les molécules d'azoxyanisol de façon que leur allongement soit dans le plan défini par la normale aux lames frottées et la direction D du frottement; la deuxième, plus lente à se faire sentir, progressive et un peu irrégulière, impose à cette direction d'allongement une orientation moyenne de plus en plus fréquemment confondue avec D.

Action du nettoyage. — Si les lames ont été flambées ou nettoyées

chimiquement avant d'être frottées, les résultats obtenus sont les mêmes, à ceci près, qu'il suffit de frotter les lames 50 fois pour avoir des préparations parallèles à l'axe tout à fait remarquables. Il est très difficile de faire disparaître l'action du frottement, surtout si les lames avant d'être frottées ont été flambées; seul un nettoyage chimique très énergique peut faire disparaître d'une lame tout souvenir de frottements antérieurs; un flambage même prolongé n'y parvient pas toujours complètement.

Action de la substance sur laquelle les lames sont frottées. — Le papier a été remplacé par diverses substances telles que la soie, le drap, le caoutchouc, le cuivre, le plomb, le verre; les résultats obtenus restent sensiblement les mêmes, les différences observées provenant de la difficulté plus ou moins grande de frotter les lames sur ces diverses substances.

Action de la nature des lames frottées. — Les lames de verre ont été remplacée par des lames de mica [1] ou par des lames de quartz. L'expérience réalisée avec le mica est particulièrement importante : en effet si les lames proviennent d'un clivage frais, la préparation obtenue a une structure hélicoïdale, les molécules étant orientées sur la surface inférieure à 30° à droite de la trace de g^1 sur le plan de clivage, sur la face supérieure à 30° à gauche de cette trace; si les lames de mica sont frottées suivant la trace de g^1, la préparation obtenue est équivalente à une lame monocristalline dont l'axe optique serait dirigé suivant cette trace; autrement dit, le mica frotté se comporte comme le verre; le quartz également. Il y a tout lieu de penser que ce résultat est général, l'action du frottement est la même, quelle que soit la nature de la surface frottée.

Variation avec la nature de la substance fondue. — Les essais ont porté sur l'azoxyanisol, l'azoxyphénétol, l'anisaldazine et le *p*-anisal-aminocynnamate d'éthyle; les faits observés permettent d'énoncer les résultats suivants : l'effet du frottement s'exerce seulement sur la phase nématique et non sur la phase smectique; pour la phase nématique, il est d'autant plus énergique que le corps étudié a plus d'aptitude à donner des plages adhérentes.

Durée de conservation de la propriété. — Des lames frottées depuis plus d'un an, conservées simplement sous cloche, ont gardé la propriété d'orienter les cristaux liquides, d'une façon presque intacte pour les lames flambées ou nettoyées chimiquement, avec une tendance à une diminution de l'étendue des plages parallèles à l'axe et à la formation d'irrégularités pour les lames non mouillables.

---

(1) Ch. Mauguin, *Comptes rendus*, 156, 1913, p. 1246.

PHYSIQUE DU GLOBE. — *Application du critérium de Lord Rayleigh à la formation des tourbillons convectifs dans les sols polygonaux du Spitzberg.* Note [1] de M. **Vsevolod Romanovsky.**

Pour pouvoir affirmer avec certitude que les sols polygonaux arctiques sont bien dus à des tourbillons de H. Bénard [2], il est nécessaire de connaître si le critérium de Lord Rayleigh [3], exprimant la condition de l'existence d'une instabilité thermique au sein d'une masse fluide, peut s'appliquer au cas des sols polygonaux du Spitzberg. Ce critérium est figuré par une équation, à savoir

$$\frac{\beta\alpha g h^4}{\psi\nu} = A,$$

avec la condition $A > 657$ pour qu'il puisse y avoir instabilité thermique, d'où naissance des tourbillons convectifs. Il a donc fallu calculer A et le comparer à 657.

Le tableau ci-dessous groupe les valeurs des facteurs de A, tous ses chiffres ayant été déterminés expérimentalement.

Échantillon	1.	2.
Coefficient de dilatation cubique (α)	$1,1.10^{-5}$	$1,3.10^{-5}$
Coefficient de conductibilité thermique (ψ)	450.10^{-5}	375.10^{-5}
Viscosité d'ensemble (ν) à 10°C	12,5	7,6
Épaisseur du tourbillon (h)	80	80
Gradient de température (β)	0,1	0,1
Accélération de la pesanteur (g)	981	981
Rigidité mesurée avec app. B. F. R. [4] (dynes/cm²)	0,15	0,06

(Toutes ces valeurs sont exprimées en unités C.G.S.)

Le coefficient de conductibilité thermique a été déterminé à l'aide d'un appareil conçu spécialement à cet effet [5]. Le coefficient de dilatation cubique a été mesuré comme si l'on avait affaire à un liquide, et c'est un coefficient qui s'applique à l'ensemble et non aux constituants minéralogiques de la boue. *La viscosité d'ensemble* a été déterminée en se servant

---

(1) Séance du 8 décembre 1941.

(2) *Thèse de doctorat*, Paris, 1901.

(3) *Phil. Mag.*, **32**, 1916, pp. 529-546.

(4) V. Romanovsky, *Comptes rendus*, **213**, 1941, p. 584.

(5) J. Bourcart, J. Florentin et V. Romanovsky, *Comptes rendus*, **212**, 1941, p. 682.

d'un viscosimètre à chute de bille où le passage de celle-ci était détecté à l'aide d'un procédé électromagnétique. Comme il est impossible de parler d'une viscosité réelle, le fluide étant très complexe, j'appelle *viscosité d'ensemble* le chiffre qui est donné par le viscosimètre à chute de bille, tout se passant comme si l'on avait affaire à un liquide *normal* ([6]).

L'épaisseur du tourbillon, autrement dit la distance entre la « tjäle » et la surface libre, a été mesurée sur place ([7]). Comme il est impossible de fixer un gradient de température précis, le chiffre figuré dans le tableau précédent donne un gradient de température moyen mesuré sur un intervalle de temps assez étendu et pour des variations de température extrêmes.

L'accélération de la pesanteur a été calculée en tenant compte de la latitude et de l'altitude du lieu.

Les calculs donnent comme valeurs de A, 77.10^4 pour l'échantillon n° 1 et 183.10^4 pour l'échantillon n° 2. Ces valeurs sont nettement supérieures au nombre du critérium de Lord Rayleigh, donc l'instabilité thermique est possible, et l'hypothèse des tourbillons convectifs se trouve, une fois de plus, confirmée.

MICROPALÉONTOLOGIE. — *Sur la présence de Diatomées dans certains silex creux turoniens et sur un nouveau mode de fossilisation de ces organismes.* Note de M. **Georges Deflandre**, présentée par M. Maurice Caullery.

Deux problèmes, d'ailleurs interdépendants, dominent les recherches sur l'action lithogénétique des Diatomées, au cours des temps géologiques : 1° la détermination de l'ancienneté de ces algues siliceuses; 2° celle de leurs divers modes de fossilisation, avec leurs stades successifs et parfois leurs pseudomorphoses finales.

L'étude de la poudre contenue dans des silex creux de diverses provenances, systématiquement poursuivie depuis plusieurs années, me permet d'apporter une nouvelle contribution à ces problèmes, grâce à la découverte de Diatomées fossilisées d'une manière particulière, *inconnue jusqu'à présent dans ce groupe.*

Contrairement à une opinion répandue, au moins en France et en Grande-Bretagne, il semble bien que personne n'ait encore décrit et figuré

(6) J. Duclaux, *Traité de Chimie physique*, Paris, 1934.
(7) V. Romanovsky, *Comptes rendus*, 210, 1940, p. 97.

de Diatomées provenant de silex creux. Les indications habituellement données sur ce sujet et reproduites depuis fort longtemps, résultent soit d'une confusion accidentelle, soit d'une interprétation trop large du genre *Pyxidicula* Ehrenberg, dont la signification était d'ailleurs bien imprécise à la fin du siècle dernier.



Fig. 1 à 7. — *Thalassiosira cretacea* n. sp., Diatomées calcédonieuses, provenant de silex creux turoniens. 1, spécimen ayant conservé les valves et le connectif (l'ornementation réticulée est d'origine secondaire); 2 et 3, moules internes calcédonieux en vue frontale, légèrement oblique pour la figure 3 (le cercle central de la figure 2 correspond à un vide globulaire de la calcédonite); 4 et 5, moules internes en vue latérale (oblique pour la figure 5), montrant les appendices centraux et la couronne de cornes; 6 et 7, moules internes en vue latérale, avec vides globulaires. La visibilité des appendices a été forcée dans le dessin. Grossissement 600. Observations faites en milieu à haut indice de réfraction.

Les Diatomées étudiées ici sont intéressantes à un double titre : leur âge, leur mode de fossilisation. Je reviendrai ailleurs sur la question de l'ancienneté des Diatomées, qui mérite un exposé critique. Les Diatomées du Crétacé sont encore peu connues; en France, L. Cayeux, qui en a signalé autrefois *quelques unités* dans la craie du Bassin de Paris (¹),

---

(¹) *Mém. Soc. Géol. du Nord*, 2, IV, 1897, p. 458.

indépendantes des silex, a précisé qu'elles y étaient extrêmement rares; leur étude n'a pas été poursuivie et leur mode de fossilisation est resté inconnu.

Celles que j'ai trouvées proviennent de cavités irrégulières situées dans des silex blonds turoniens, recueillis dans la falaise des Vaches noires, à Villers-sur-Mer (Calvados). Assez communes, elles accompagnent des Radiolaires fréquents, des Foraminifères silicifiés et des spicules de Spongiaires nombreux. Certaines de ces Diatomées [2] ont conservé tout ou partie de leurs valves (*fig.* 1), avec, semble-t-il, une certaine proportion d'opale. Ces valves renferment toujours *un moule interne calcédonieux*. Leur fine ornementation superficielle n'est plus visible; seuls subsistent un appendice central et une couronne de cornes plus ou moins développées. Le plus fréquemment, *on ne retrouve que les moules internes de calcédonite* (*fig.* 2 à 7), pourvus ou non de vides globulaires, analogues à ceux des spicules fossilisés avec eux. Les uns sont très caractéristiques, particulièrement en vue latérale (*fig.* 4, 5); les autres (*fig.* 6, 7) *sont tellement modifiés qu'en première analyse, il est impossible d'y reconnaître des Diatomées*. Des stades intermédiaires et aussi la conservation partielle de l'appendice central, ou de la couronne de cornes, permettent cependant de reconnaître leur origine avec une entière certitude.

Ces stades finaux, simples sphéroïdes de calcédonite, sont assurément les plus intéressants. Avec eux, et pour la première fois, nous prenons connaissance de structures engendrées par la fossilisation des Diatomées, susceptibles de nous conduire à déceler celles-ci dans des roches où leur présence était jusqu'ici invérifiable. On peut donc voir là un point de départ pour des recherches nouvelles concernant les questions évoquées au début de cette Note.

PALÉOBOTANIQUE. — *La loi de récapitulation ontogénique et phylogénique appliquée aux plantes fossiles.* Note de M. **Paul Bertrand**, présentée par M. Louis Blaringhem.

Les travaux d'anatomie comparée exécutés depuis 1906 ont montré qu'un grand nombre de Ptéridophytes et de Ptéridospermes ont conservé

([2]) Tous les spécimens étudiés appartiennent à une même espèce, que je classe dans le genre planctonique, actuel et fossile, *Thalassiosira* Cleve, sous le nom de *T. cretacea* n. sp.

dans leur organisation la marque héréditaire des types archaïques dont elles sont issues. Ce vestige indubitable de l'organisation ancestrale se trouve dans toutes les régions où un organe latéral s'insère sur un support (régions d'insertion). De là un énoncé particulier de la loi biogénétique fondamentale de Serres-Müller applicable à tous les végétaux anciens ou primitifs :

Toutes les fois que le corps se ramifie et quelle que soit la nature du rameau, tige ou pétiole, pétiolule de tout ordre, nervure, bractée, sporophylle (Lycopodiales), *sporangiophore* (Équisétales), *racine ou radicelle, la plante recommence son ontogénie.*

Ce résultat s'explique aisément par les raisons suivantes :

1° Chez les Fougères, stipes et pétioles sont coniques à leur base. Leur système vasculaire, conique lui aussi, est réduit vers le bas au plus petit calibre possible; 2° il en est de même des rameaux latéraux des *Equisetum*, des Calamariées et des Lépidophytes houillères. La partie la plus profonde des traces raméales (située d'ailleurs souvent bien au-dessous du nœud correspondant), répète la structure de la partie initiale du système vasculaire de la tige principale. En réalité, la répétition va habituellement beaucoup plus loin que l'ontogénie de la plantule : elle reproduit fidèlement la structure de la tige ou du *rhizome primordial* des ancêtres de la plante étudiée. En opérant de proche en proche et avec toute la prudence désirable, il est donc possible de lire à livre ouvert l'histoire des origines et du développement des principaux types des végétaux vasculaires.

La structure primitive conservée dans les traces raméales (*sensu lato*) est très généralement une protostèle à pôle central ou un faisceau tubulaire, quelquefois une haplostèle ou une microstèle. Nous en avons donné récemment trois exemples très nets : le premier chez l'*Osmunda regalis* [1], le second chez les Ptéridospermes [2], le troisième chez les Filicales primitives [3]. Des faits que nous avons exposés se dégage invinciblement la conclusion que Filicales et Ptéridospermes sont issues d'ancêtres communs, qui possédaient un rhizome horizontal semblable à celui du *Botryopteris antiqua*. Une conclusion analogue se dégage de l'anatomie comparée des cônes fructifères des Équisétales (Santschi, 1935, *fig.* 8 et 15) et des Lycopodiales (de *Phylloglossum* en particulier); ici l'ancêtre commun avait

---

(1) *Comptes rendus*, 212, 1941, p. 926.
(2) *Comptes rendus*, 213, 1941, pp. 143-145.
(3) *Comptes rendus*, 213, 1941, pp. 500-503.

un rhizome horizontal semblable à celui de l'*Asteroxylon Mackiei*. En remontant plus haut on abontirait, on le sait, aux Rhyniales.

Traces foliaires et traces raméales. — Conformément aux vues de H. Potonié, O. Lignier, A.-G. Tansley, il n'y a pas chez les végétaux anciens de distinction tranchée entre ce que nous appelons *tige* et *pétiole* : entre un axe à symétrie radiaire et un support à symétrie bilatérale. Autrement dit, quand un paléobotaniste s'efforce à retracer l'ontogénie et la phylogénie d'un pétiole en explorant la trace pétiolaire, il fait du même coup l'ontogénie et la phylogénie de la tige principale de la même plante.

Worsdell est le premier auteur qui ait proclamé la valeur ancestrale des traces foliaires. Il est aussi le premier qui ait fait observer que les pétioles de *Lyginopteris* et de *Stengeria* ne sont pas autre chose que des axes qui ont été rejetés latéralement et ont perdu la symétrie radiaire ([4]).

Le même fait est facile à vérifier chez *Tetrastichia bupatides* et chez *Calamopitys americana* (Cl. Read, *Calamopityeæ*, 1937, pl. 16 à 18). On comprend dès lors pourquoi les méristèles pétiolaires des Phanérogames sont fréquemment bi- ou quadri- fasciculées (Ptéridospermes, Cycadées). C'est qu'elles sont issues d'une protostèle à pôle central qui s'est divisée en deux, puis en quatre.

Remarque. — De la structure centrique de la protostèle, on passe directement à la structure excentrique plus ou moins accusée des faisceaux mésarches, puis de celle-ci à la structure endarche ou épiarche caractéristique des faisceaux foliaires des Angiospermes. Par suite, le deuxième cycle de l'évolution vasculaire selon Chauveaud (de la *structure alterne* de la racine à la *structure superposée* des faisceaux foliaires) n'existe pas. C'est ce qu'a fort bien démontré P. Bugnon (1933).

Racines. — Pour retracer l'histoire évolutive des racines, il faut explorer le pédicule des racines latérales et des radicelles de Fougères. Cet organe est à l'état d'haplostèle ou de faisceau à structure centrique.

BOTANIQUE. — *De la tige aérienne ou hampe florale chez* Eryngium maritimum *L.* Note de M. **Jean-Marie Turmel**, présentée par M. Louis Blaringhem.

Chez *Eryngium maritimum*, la morphologie et la biologie nous ont conduit à classer les individus en deux groupes, les pieds stériles sans

---

([4]) *Ann. of Bot.*, 20, 1906, pp. 150-152 et suiv.

rameaux aériens et les pieds florifères à tige aérienne très ramifiée. Les plantes de ces deux groupes possèdent une tige souterraine de structure tout à fait normale (Costantin, 1883), absolument verticale et sans ramification, qui, dans les pieds adultes, peut atteindre plus de 1^m en profondeur.

Dans le premier groupe, la tige souterraine n'est couronnée que d'une rosette de feuilles s'étalant sur le sol, l'axe n'étant terminé que par un bourgeon placé sur un plateau terminal, au niveau du sol.

Dans le second groupe, au contraire, la tige souterraine se prolonge par un axe vertical très ramifié et forme l'axe de symétrie de la partie aérienne. Celle-ci, n'existant pas toujours chez *Eryngium*, ne peut donc être assimilée à une tige, organe primordial d'une plante, mais plutôt à un organe facultatif dont l'absence n'entrave en rien la croissance de la plante : c'est le cas d'une hampe florale. D'autre part, la tige aérienne n'existe jamais chez les très jeunes sujets et, pour les plantes adultes, se renouvelle chaque année.

De nombreux faits nous confirment dans l'hypothèse qu'il s'agit d'une hampe florale :

1° Tout d'abord, elle meurt et se brise chaque année comme le font tous les organes floraux; la seule partie vivace est la tige souterraine verticale.

2° Mort de ces organes; les organes foliaires des *tiges aériennes* jaunissent et meurent environ un mois avant les pieds stériles; souvent on trouve les *tiges florifères* complètement mortes et parfois même séparées de la souche alors que les feuilles basales sont encore vertes.

3° Variation absolument régulière des pièces appendiculaires : on note une série de transition complète depuis les feuilles de base les plus compliquées jusqu'aux sépales et même aux carpelles; ceci dénote la part, de plus en plus grande, que l'influence florale exerce sur l'organisation végétative, au fur et à mesure que l'on se rapproche des parties constituant la fleur. Cette variation graduelle des pièces foliaires nous conduit tout naturellement à faire une séparation absolue entre les organes foliaires qui sont sur cette hampe florale et ceux qui sont au sommet de la tige souterraine. Toutes les pièces appendiculaires, que les auteurs appellent *feuilles caulinaires* et qu'ils ne distinguent pas de véritables feuilles basales, ne sont que des bractées nettement différentes des feuilles par leur mode d'attache, par leur forme et les rapports de leurs parties composantes. Enfin, leur mode de vie en fait des bractées puisqu'elles ne se détachent pas de l'axe principal même après la mort de cet organe.

4° Régularité absolue de la ramification : les rameaux alternes divergent de la tige suivant des plans orientés à 120° l'un par rapport à l'autre et, de plus, l'angle qu'ils font avec l'axe central est sensiblement le même pour tous les rameaux : ceci implique un parallélisme rigoureux entre les rameaux 1-4-7; 2-5-8; 3-6-9.

5° Enfin la biologie de la floraison rassemble, en un tout très net, cet organe aérien : en effet chaque rameau n'a pas une individualité propre, mais est lié à tous les autres.

Tous les rameaux ont un développement concomitant : les capitules de même rang (tous ceux qui terminent les rameaux primaires, secondaires, tertiaires etc.) naissent, se développent, fleurissent, fructifient et mûrissent en même temps sur tous les rameaux à la fois, quelles que soient la *force* du rameau et sa position, ces deux états ne faisant varier que le nombre des fleurs sur le capitule et parfois le nombre des graines fertiles.

A cette homogénéité serrée de toutes les caractéristiques de la hampe florale chez le genre *Eryngium* (car il nous semble bien que tout ce que nous venons de dire se vérifie pour les autres *Eryngium*) s'oppose, à première vue, le désordre anatomique des feuilles : les unes ont une structure homogène comme *E. maritimum*, plante xérophytique et à feuilles très longtemps verticales; d'autres, à structure très réduite (*E. viviparum*), présentent des altérations profondes des parenchymes, dues au milieu aquatique. Pour une autre encore, tel *E. campestre*, la structure dissymétrique le rapproche, par sa biologie, des plantes des champs (Chermezon, 1910). Mais cette diversité, caractéristique végétative de l'espèce, va subsister dans toutes les pièces appendiculaires, et c'est seulement en corrélation avec cette structure que se fera la transformation florale.

Ainsi la morphologie et l'anatomie confirment l'hypothèse d'identité entre la prétendue *tige aérienne* et une hampe florale, et nous sommes en présence du terme de passage entre les organes où dominent respectivement les influences végétatives et sexuelles.

PATHOLOGIE VÉGÉTALE. — *Sur quelques modifications pathologiques des plastes et sur la mise en évidence d'une membrane plastidaire.* Note de M. **Pierre Dangeard**, présentée par M. Pierre-Augustin Dangeard.

On sait que les plastes végétaux (leucoplastes, chloroplastes, chromoplastes) subissent facilement sous l'action des milieux hypotoniques, en

particulier dans l'eau distillée, une transformation en vésicules. Cette altération des plastes a été considérée comme irréversible d'une manière générale. Cependant, il ressort de nombreuses expériences que nous avons entreprises sur les poils aériens de plantes diverses (Courge, *Ecballium*, Bryone, *Hyoscyamus* etc.) que les plastes vésiculisés reprennent rapidement leur état antérieur si les cellules modifiées sont replacées dans un milieu normal permettant leur survie ([1]).

Des expériences préliminaires sur les poils aériens de la Courge ont montré que l'eau distillée produisait bien la vésiculisation des chloroplastes, mais seulement à la longue et dans des conditions telles que la reprise de vitalité cellulaire était alors impossible. Au contraire, si l'on produit cette vésiculisation par l'action de l'acide acétique dilué (eau acétique à 1 % ou à 1 ‰), l'altération est beaucoup plus rapide et la cellule, après élimination de l'acide acétique et le retour dans l'eau ordinaire, est capable de retrouver son activité vitale. Or, sur les cellules ainsi rappelées à la vie, les plastes reprennent assez vite leur aspect normal et bientôt toute trace de vésiculisation peut avoir disparu. La transformation des plastes en vésicules sous l'action de l'acide acétique dilué se montre donc parfaitement réversible dans les conditions de nos expériences, et ces phénomènes sont accompagnés de certaines particularités morphologiques non décrites jusqu'à présent et sur lesquelles nous désirons attirer l'attention.

Comme nous l'avons déjà indiqué dans une Note antérieure, les chloroplastes des poils aériens de la Courge, sous l'action de l'acide acétique faible, prennent l'aspect de grosses vésicules dans lesquelles le stroma vert est rejeté sur le côté sous forme d'un croissant; si l'altération est moins importante, le stroma prend une forme d'hémisphère, le restant de la vésicule formant un espace vide limité par une fine membrane (*fig. b*) ([2]).

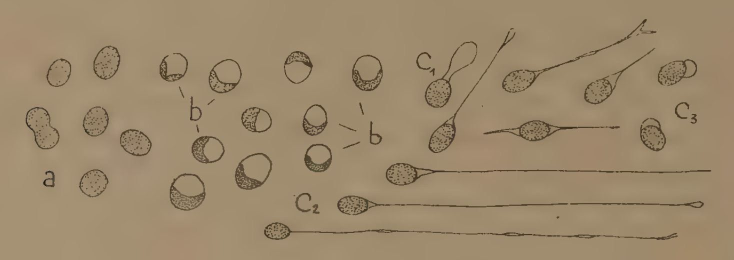
Lorsque les chloroplastes sont encore peu vésiculisés, il semble bien que leur retour à l'état normal se fasse simplement par le gonflement du stroma qui récupère peu à peu l'espace abandonné lors de sa contraction, mais si la vésiculisation est poussée plus loin, le plaste reprend bien sa

---

([1]) Pierre Dangeard, *Comptes rendus*, **212**, 1941, p. 713; *C. R. Soc. Biol.*, **135**, 1941, p. 766.

([2]) L'espace délimité par la vésicule n'est pas littéralement *vide*; de toute évidence il est occupé par un liquide, mais il ne représente pas non plus le stroma incolore dilaté comme l'admet à tort Beauverie (*Revue de Cytologie et de Cytophysiologie*, 3, 1938, p. 92).

force primitive et normale de disque ou de globule, mais il reste toujours une partie de la vésicule non résorbée, demeurant encore témoin de l'altération subie. Cette vésicule résiduelle pourrait facilement passer inaperçue par suite de l'extrême minceur de la pellicule qui la limite. D'autre part cette vésicule ne reste pas en état, mais, à mesure que la cyclose reprend dans le cytoplasme et en fonction de cette cyclose, elle change de forme et, par exemple, prend l'aspect d'une sorte de ballon rattaché au chloroplaste par une partie rétrécie (*fig.* c_1); les pressions exercées sur cette



vésicule peuvent amener son aplatissement et son étirement en un long filament qui présente la plus grande ressemblance avec un chrondrioconte, mais qui en diffère par sa rigidité relative, l'existence fréquente, à son extrémité, ou sur son trajet, d'une petite vésicule et par son rattachement au chloroplaste (*fig.* c_2). Les chloroplastes, dans les cellules en reprise, se trouvent ainsi fréquemment pourvus d'une sorte d'appendice dont nous venons de voir l'origine et qui peut atteindre en longueur sept ou huit fois leur diamètre propre. Parfois aussi des vésicules résiduelles peuvent demeurer sans se transformer en filaments (*fig.* c_3).

La formation de vésicules, puis la persistance, sous forme de longs prolongements filamenteux du reliquat des vésicules plastidaires, prouvent l'existence, contrairement à l'opinion de la plupart des cytologistes, d'une membrane propre autour des plastes. Cette membrane, capable d'être étirée et laminée, est douée par conséquent d'une grande plasticité; ses propriétés physiques rappellent un peu celle des chondriosomes et l'on peut supposer qu'elle a, comme eux, une nature lipoprotéidique. La membrane plastidaire en excès, attachée aux plastes sous forme de vésicule résiduelle ou de filament, est sans doute destinée à se détacher et à se résorber; en effet, si l'on examine à différents intervalles une cellule en voie de reprise, on voit que les restes de vésicules et les filaments disparaissent peu à peu à la surface des chloroplastes et que ceux-ci finissent, en

très grand nombre, par ne plus porter trace des altérations antérieures : ils ont subi une cicatrisation complète et ne diffèrent plus des plastes d'une cellule-témoin. Il faut donc supposer que les résidus vésiculaires ont été résorbés ou se sont détachés des plastes pour être ensuite éliminés, probablement par dissolution. On peut trouver d'ailleurs de ces queues plastidaires, isolées dans le cytoplasme, et dont le rattachement à un chloroplaste ne peut plus être tracé [3].

On voit donc que les chloroplastes, après avoir subi la vésiculisation, peuvent rétablir leur état antérieur, soit en reprenant par gonflement l'ancien espace qu'ils occupaient, soit en éliminant les restants de vésicules excédentaires, et rétablissent une nouvelle membrane sur leur emplacement, c'est-à-dire par un procédé rappelant un phénomène de cicatrisation. La cellule apparaît donc, comme l'organisme entier, douée d'un certain pouvoir de réparation et de régénération.

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Potentiel d'oxydo-réduction du système hémoglobine-hydroperoxyde d'éthyle*. Note [1] de MM. **Michel Polonovski**, **Max-Fernand Jayle** et Mlle **Gabrielle Fraudet**, présentée par M. Maurice Javillier.

Le mode et le point d'attache de l'oxygène moléculaire sur l'hémoglobine ne sont encore que l'objet d'hypothèses. Le seul argument solide repose sur l'action des oxydants minéraux qui, en transformant le fer ferreux en fer ferrique, chasse quantitativement l'oxygène fixé sur l'hémoglobine. Il existe d'ailleurs, en dehors des oxydants minéraux, de nombreux agents méthémoglobinisants tels que l'aniline, l'acétone, l'alcool etc. qui conduisent au même résultat. On en a conclu que toute *méthémoglobinisation* était incompatible avec la fonction respiratoire du pigment sanguin.

Nous avions déjà été frappés, lors d'une étude spectrographique et

(3) Le sort des éléments de rebut (queues plastidaires, résidus des mitochondries etc.) ne peut pas encore être indiqué avec certitude. Certains de ces éléments semblent être résorbés rapidement dans la cellule en survie, d'autres s'accumulent, semble-t-il, aux pôles cellulaires comme substances de déchets soustraites à la cyclose générale du cytoplasme.

(1) Séance du 8 décembre 1941.

manométrique de l'action des hydroperoxydes sur l'hémoglobine ([2]), du comportement très particulier de l'hydroperoxde d'éthyle qui, en réagissant moléculairement sur l'hémoglobine, n'en chasse pas l'oxygène. A première vue, cette observation semblait en opposition avec une interréaction du fer et du peroxyde et nous avait fait prématurément conclure qu'il se formait un dérivé d'oxydation supérieure du fer, compatible avec la conservation des valences de coordination qui fixent l'oxygène moléculaire. Cette constatation était contraire à l'interprétation de Klein et Hartree, qui supposaient, sans en donner la preuve expérimentale, que le peroxyde méthémoglobinisait d'abord l'hémoglobine, puis se combinait moléculairement à la méthémoglobine ainsi obtenue.

Nous avons demandé à l'étude électrochimique de ces réactions de faire le départ entre ces mécanismes différents.

Nous avons utilisé la même technique de mesures que celle décrite dans notre dernière Note ([3]).

Opérant sous azote ([4]), nous sommes partis de l'hémoglobine réduite et nous avons été surpris de constater qu'à pH 5,2 un seul équivalent d'hydroperoxyde réagit avec le pigment. On obtient une série de mesures aboutissant au potentiel de la méthémoglobine, mais s'inscrivant en une courbe ([5]) différente de celle de Conant, en ce sens qu'elle ne présente pas de point d'inflexion à tangente horizontale; elle est de même forme que celle que nous avons obtenue à partir du système méthémoglobine-hydroperoxyde ([3]).

Le composé formé se distingue de la méthémoglobine ordinaire par son instabilité (que l'on peut d'ailleurs diminuer par abaissement de la température) et par le fait qu'il ne donne pas naissance, en présence d'un excès d'hydroperoxyde, au dérivé à fer tétravalent précédemment mis en évidence ([3]). D'autre part, il se produit un phénomène d'autoxydation qui s'accompagne de la formation d'une mousse si abondante qu'il nous aurait

---

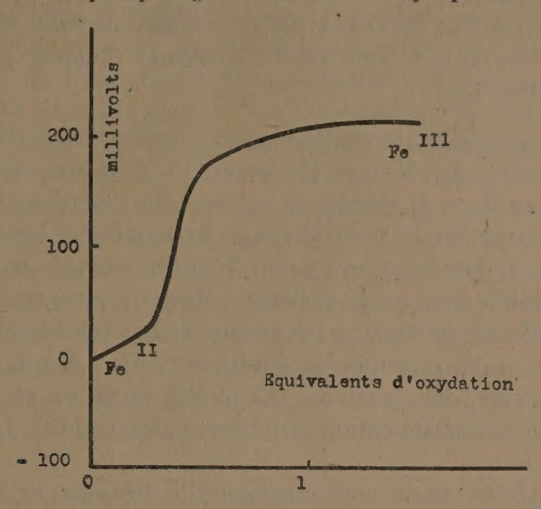
([2]) M. Polonovski, M.-F. Jayle et Mlle Glotz, *Bull. Soc. Chim. biol.*, n° 1, 1939, p. 48.

([3]) *Comptes rendus*, 213, 1941, p. 740.

([4]) En présence d'oxygène, l'oxyhémoglobine donne naissance dans les mêmes conditions à un dérivé trop instable pour que nous ayons pu jusqu'ici établir la variation du potentiel d'oxydo-réduction.

([5]) Il n'est pas possible de définir les potentiels normaux de ces dérivés instables à partir de ce graphique, car la représentation de leurs variations ne se superpose pas nécessairement à celle qui ressort de nos résultats expérimentaux.

été impossible de conduire une expérience à son terme si nous n'avions ajouté à la solution quelques gouttes d'alcool octylique.



En résumé, cette expérience démontre que l'hydroperoxyde d'éthyle oxyde le fer de l'hémoglobine à l'état ferrique; mais l'instabilité du dérivé obtenu et son incapacité à se transformer en un dérivé d'oxydation supérieure à fer tétravalent le distinguent de la méthémoglobine ordinaire.

On comprend alors que l'activité enzymatique de l'hémoglobine soit différente de celle de la méthémoglobine, puisque le dérivé instable d'oxydation intermédiaire n'est pas le même dans les deux cas. Avec l'hémoglobine, l'échange électronique fait passer le fer de la divalence à la trivalence et non à la tétravalence.

Enfin, il est particulièrement intéressant de rappeler que le fer hémoglobinique peut ainsi changer de valence sans que l'oxygène moléculaire additif soit nécessairement chassé de sa position.

On peut en conclure :

1° qu'il existe plusieurs dérivés d'oxydation de l'hémoglobine dont le fer est trivalent;

2° que l'activité enzymatique du pigment sanguin est parfaitement compatible avec son rôle de transporteur d'oxygène.

Il est donc vraisemblable que l'hémoglobine représente dans l'organisme humain plus qu'un réservoir d'oxygène et qu'elle participe par son activité enzymatique aux phénomènes d'oxydation biologique.

BIOLOGIE EXPÉRIMENTALE. — *Influence du p-aminophénylsulfamide sur le développement de l'œuf d'Oursin. Effet sur la multiplication des blastomères et évolution des larves.* Note de M. **J.-André Thomas**, présentée par M. Charles Pérez.

L'action du *p*-aminophénylsulfamide sur les Bactéries, découverte par J. et Mme Trefouël, F. Nitti et D. Bovet (1), pose des problèmes dont l'importance pratique et théorique ne cesse de s'étendre. Le sulfamide arrête progressivement la multiplication de nombreux microorganismes protocaryotes, de Moisissures (2), d'un Flagellé leucophyte (3); il exerce une influence inhibitrice sur la croissance de plantes supérieures (2), (4). Est-il sans réelle efficacité sur la reproduction des cellules animales, dans l'organisme et *in vitro*, comme on tend à le croire? A-t-il, au contraire, la propriété d'agir, dans certains cas, directement ou non, sur divers mécanismes de la multiplication cellulaire, notamment de la caryocinèse animale?

Dans cette Note, nous nous limiterons à l'exposé de nos résultats concernant l'action globale du sulfamide sur le développement de l'œuf de *Paracentrotus lividus* Lk. Trois modalités expérimentales sont envisagées.

Conditions expérimentales. — Les œufs sont répartis en quantités sensiblement égales et fécondés dans des boîtes de Petri en pyrex de 6cm,5 de diamètre, couvertes, contenant 20cm³ d'eau de mer sulfamidée ou témoin. Toutes les solutions subissent les mêmes manipulations; elles sont préparées juste avant l'emploi; l'eau utilisée est puisée directement dans la mer, puis filtrée sur papier Laurent. Nous avons fait [Station Biologique de Roscoff, fin août-début octobre 1941 (5)] 7 séries d'expériences distinctes, comprenant en tout 85 lots de plusieurs centaines d'œufs. Les observations sont poursuivies à l'état vivant jusqu'à l'achèvement de la forme *pluteus* chez les témoins; de nombreux stades sont analysés, en outre, par les procédés histotologiques.

---

(1) *C. R. Soc. Biol.*, 120, 1935, p. 756-758.

(2) E. Fourneau, J. et Mme Trefouël, F. Nitti et D. Bovet, *C. R. Soc. Biol.*, 122, 1936, pp. 652-654.

(3) A. Lwoff, F. Nitti, Mme J. Trefouël et Mlle V. Hamon, *Ann. Inst. Pasteur*, 67, 1941, pp. 9-36 (le Flagellé *Polytomella cæca* se comporterait comme un Phytoflagellé à cause de sa sensibilité au sulfamide).

(4) G. Mangenot et Mlle S. Carpentier, *C. R. Soc. Biol.*, 135, 1941, pp. 1053-1057; 1057-1060, 1152-1155.

(5) Le développement des œufs s'est révélé le plus souvent normal pendant cette période (sur la variation de leur sensibilité, voir G. Bohn, *C. R. Soc. Biol.*, 135, 1941, p. 1166-1168).

1° *Fécondation et développement dans le sulfamide.* — Le sulfamide à la concentration de 1 °/₀₀ (ordre de grandeur de la dose agissant sur les bactéries) provoque seulement de légères perturbations chez un certain nombre de larves qui n'arrivent pas à une régulation totale (faible retard de la division de blastomères, *blastula* doubles, hyperplasie du mésenchyme, *pluteus* toujours plus ou moins globuleux et parfois déformés). A 2 °/₀₀, l'évolution s'arrête au stade *gastrula* âgée atypique. A 3 °/₀₀, elle est très altérée, le processus normal de la segmentation est bloqué; lorsque le stade II parvient à s'établir, les blastomères peuvent se diviser tardivement d'une façon irrégulière, inégale et indépendante, aboutissant à la création de larves très déformées nageant faiblement, puis dégénérant. A 4 °/₀₀, le stade II est atteint exceptionnellement. A 5 °/₀₀ enfin, la première division est complètement empêchée. La fécondation a lieu cependant : plusieurs œufs s'entourent de la membrane caractéristique. D'ailleurs quelques spermatozoïdes sont encore mobiles, entre lame et lamelle, 1 heure 30 minutes après leur immersion dans le sulfamide à 5 °/₀₀ environ.

2° *Segmentation des premiers stades dans l'eau de mer, puis traitement définitif par le sulfamide à* 5 °/₀₀ (M/34,4). — Ce traitement est appliqué aux stades II ou IV ou VIII. La segmentation normale est généralement bloquée au stade même de l'expérience, parfois au suivant; si quelques blastomères poursuivent isolément une division d'allure normale, des stades impairs apparaissent. Ensuite commence une évolution particulière. Les blastomères forment, dans leur région corticale tout d'abord, de petits éléments cellulaires, dont quelques-uns sont finalement rejetés, par un processus de divisions indépendantes, très irrégulières, inégales et plus ou moins incomplètes. Cette cytulation anarchique peut aboutir à la formation de larves rappelant en partie des *morula*, et qui, parfois même, s'essayent à quelques tentatives éphémères de rotation.

3° *Segmentation des premiers stades dans l'eau de mer, puis traitement pendant un temps limité par le sulfamide à* 5 °/₀₀. — Après une intervention de cette sorte, les larves sont lavées puis remises dans l'eau de mer pure. Un traitement de 30 minutes, au cours du stade IV, modifie relativement peu le développement (*pluteus* voisins de la normale et atypiques). Si l'action dure une heure, les altérations sont beaucoup plus fortes (*pluteus* très anormaux). Si elle est prolongée deux heures, les larves restent à l'état de *blastula* très irrégulières à mésenchyme hyperplasié.

Lorsque le sulfamide agit pendant 6 heures, les résultats sont très

suggestifs. La cytulation anarchique corticale, dont il a été fait mention, survient peu après la nouvelle immersion dans l'eau de mer. Quelques heures plus tard, ces larves, où l'on reconnaît les sillons principaux du stade IV et dont le cortex n'est cytulé finement que dans certains territoires des blastomères bloqués, restant indivis dans les autres, commencent à tourner progressivement sur elles-mêmes; elles le font ensuite, d'une manière rapide et continuelle, se déplaçant légèrement. Bien qu'elles ne possèdent pas de véritable blastocœle, une ciliature provoquant cette rotation se développe à leur surface, comme s'il s'agissait de *blastula*. L'existence des cils, dont on observe le jeu à l'état vivant, est vérifiée par l'imprégnation argentique selon Da Fano. Ces larves sont vouées à la dégénérescence; elles cessent, en général, de se mouvoir après un jour.

La même expérience, pratiquée aux stades II et VIII, fournit des résultats de même ordre que ceux venant d'être indiqués. Les stades VIII, toutefois, produisent des larves dont la taille et la durée de vie sont un peu accrues : elles tournent encore sur elles-mêmes près de 41 heures 30 minutes après avoir été remises dans l'eau de mer. Un traitement de 16 heures au sulfamide permet encore la formation de telles larves ciliées, mais celles-ci ne vivent que quelques heures.

Ajoutons que l'évolution des larves dans le sulfamide, surtout de celles remises dans l'eau, s'accompagne d'une perturbation profonde et d'une hyperplasie énorme des noyaux. La ciliature apparaît néanmoins, et bien qu'il n'y ait pas de blastulation. L'organisme tend à suivre sa destinée, alors que la voie anatomique normale lui est interdite.

Dans des conditions différentes de celles nécessaires à l'obtention du bloquage de la prolifération bactérienne, le sulfamide exerce une puissante action d'arrêt sur la segmentation de l'œuf d'Oursin, à la suite de quoi des mécanismes spéciaux de régulation se déclenchent.

La séance est levée à 15ʰ30ᵐ.

A. Lx.